



УДК 551.583(470.325)

**ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ
И РЕГИОНАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РУБЕЖЕ
XX–XXI вв. (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**CHANGES IN THE ATMOSPHERIC CIRCULATION CONDITIONS
AND REGIONAL CLIMATIC CHARACTERISTICS AT THE TURN
OF XX–XXI CENTURIES (ON EXAMPLE OF BELGOROD REGION)**

**М.Г. Лебедева, О.В. Крымская, Ю.Г. Чендев
M.G. Lebedeva, O.V. Krymskaya, Yu.G. Chendev**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: lebedeva_m@bsu.edu.ru; krymskaya@bsu.edu.ru; chendev@bsu.edu.ru

Аннотация

Меридиональная южная циркуляционная эпоха, начавшаяся с 1957 года, отмечена существенной вариацией гидротермических характеристик в зависимости от сопутствующих форм атмосферной циркуляции. Наиболее оптимальные условия – положительные аномалии температуры и количества атмосферных осадков – создаются при восстановлении зонального переноса воздушных масс (1970–1980 гг.). Нестабильные условия увлажнения формируются при меридиональных северных потоках (1957–1969 гг. и начиная с 1998 года), что при дальнейшем росте температур может негативно сказываться на гидротермических характеристиках вегетационного периода, когда условия увлажнения достигают критических показателей – острого дефицита осадков или их избыточного количества.

Abstract

Climatologists study the oscillatory character of changes in annual average air temperature in the whole globe in the Northern hemisphere. Characteristics of atmospheric circulation in the period of intensive warming of the XX–XXI centuries. The meridional southern circulation era, which began in 1957 observed a significant variation of the hydrothermal characteristics depending on the forms of atmospheric circulation. Most optimal conditions – temperature anomalies and rainfall – created when restoring the zonal transport of air masses (1970–1980). Unstable conditions moisture is formed in the meridional flows of the North (1957–1969, and, since 1998), with a further increase of temperatures can adversely affect the hydrothermal characteristics of the growing season when moisture conditions reach critical indicators – acute precipitation deficit or excess amount. Circulation mechanisms determine extreme weather conditions are quasi-stationary anticyclones, their location, temperature and pressure characteristics and the duration of existence.

Ключевые слова: изменения климата, циркуляционные эпохи, аномалии климатических характеристик.

Keywords: climate change, circulation epoch, climate anomalies characteristics.

Введение

Наблюдаемое с конца XX века так называемое «потепление климата» проявляется неоднозначно как в глобальном, так и в региональном масштабах. В Институте географии РАН на основе типизации общей циркуляции атмосферы



Б.Л. Дзердзеевского [Дзердзеевский, 1968; Кононова, 2014, 2016] и данных глобальной температуры воздуха Университета Восточной Англии [Climate Research Unit] за период 1850–2009 гг. выявлен колебательный характер изменения среднегодовой температуры воздуха в целом по земному шару и в Северном полушарии.

Начиная с 1850 года, специалисты отметили три законченных периода потепления и два – похолодания (табл. 1). Продолжительность периодов потепления постепенно возрастает, а из двух периодов похолодания первый оказался почти втрое продолжительнее второго [Кононова, 2010].

Таблица 1
Table 1

Периоды потепления и похолодания в Северном полушарии за 1850–2005 гг. [Кононова, 2010]
Periods of warming and cooling in the Northern hemisphere over the 1850–2005 [Kononova, 2010]

| Периоды потепления | | | | Периоды похолодания | | |
|---|-------|-------|--------|---|-------|-------|
| Год минимума | 1862 | 1893 | 1956 | Год максимума | 1878 | 1944 |
| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | -0.65 | -0.56 | -0.313 | $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | 0.183 | 0.162 |
| Год максимума | 1878 | 1944 | 2005 | Год минимума | 1893 | 1956 |
| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | 0.183 | 0.162 | 0.626 | $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | -0.56 | 0.313 |
| Разность ($^{\circ}\text{C}$) | 0.833 | 0.722 | 0.939 | Разность ($^{\circ}\text{C}$) | 0.743 | 0.475 |
| Продолжительность (лет) | 16 | 51 | 49 | Продолжительность (лет) | 15 | 12 |
| Интенсивность изменения температуры ($^{\circ}/\text{год}$) | 0.052 | 0.001 | 0.019 | Интенсивность изменения температуры ($^{\circ}/\text{год}$) | 0.05 | 0.04 |

Характеристики циркуляции атмосферы в период интенсивных потеплений XX века были различными. Потепление 30-х годов XX века было связано с увеличением продолжительности зональной циркуляции. Современное потепление определяется ростом продолжительности группы циркуляции с циклонами на полюсах. При этих макропроцессах в Северном полушарии происходит 3 (зимой) – 4 (летом) одновременных выхода циклонов из низких широт в высокие, что сопровождается повышением температуры в средних и высоких широтах. Современное потепление достигло максимума в 1997 году [Кононова, 2010].

Климатические изменения в России согласуются с данными по Северному полушарию, но выражены более значительными межгодовыми амплитудами температуры, что определяется физико-географическим положением страны и масштабами Евразийского континента. Происходят климатические изменения, определяемые изменчивостью циркуляционных условий, и в Центрально-Чернозёмном регионе [Почвы и растительность ..., 2016].

Методика исследований

Территория Центрального Черноземья, по мнению климатологов, является областью наибольшей стабильности атмосферных процессов, а, следовательно, и наибольшей в пределах ЕТР устойчивости аномалий температуры, однозначная характеристика которой обычно распространяется на весь этот регион, до некоторой степени соразмерный с масштабом синоптического процесса. Поэтому нами была выбрана реперная климатическая метеостанция Богородицкое-Фенино им. Пульмана в качестве репрезентативной для исследования зависимости среднемесячных и среднегодовых величин метеорологических параметров от типов циркуляции атмосферы. Станция с 1881 года находится на постоянном месте, имеет однородные ряды наблюдений, ее местоположение характерно [Lebedeva, Krymskaya et al., 2016].



Проведен анализ аномалий среднемесячных и среднегодовых значений температуры воздуха (°C) и количества атмосферных осадков (%) в различные циркуляционные эпохи для реперной климатической станции Богородицкое-Фенино Белгородской области [Фондовые материалы ...]. В качестве климатической нормы были приняты многолетние данные за стандартный период обобщения 1881–1980 гг. [Научно-прикладной справочник ..., 1990], рекомендованный Всемирной метеорологической организацией для изучения происходящих климатических изменений. В работе использована типизация циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанная под руководством Б.Л. Дзержевского специально для анализа многолетних колебаний циркуляции атмосферы, связанных с ними колебаний температуры воздуха и атмосферных осадков. Анализ суммарной годовой продолжительности групп циркуляции позволил выявить длительные (в несколько десятилетий) периоды положительных аномалий продолжительности какой-либо группы циркуляции. Эти периоды получили название циркуляционных эпох [Дзержевский, 1968].

Всего им выделено 13 основных типов элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), объединяемых по главному признаку в следующие 4 группы:

- 1) зональная циркуляция – полярных вторжений нет; два или три прорыва южных циклонов – ЭЦМ 1 и 2;
- 2) нарушение зональности – одно полярное вторжение; от одного до трех прорывов южных циклонов – ЭЦМ 3–7;
- 3) меридиональная северная циркуляция – от двух до четырех полярных вторжений; от двух до четырех прорывов южных циклонов – ЭЦМ 8–12;
- 4) меридиональная южная циркуляция; полярных вторжений нет; от 2 до 4 прорывов южных циклонов, проникающих в полярные районы, – ЭЦМ 13.

В современный период именно эта типизация, благодаря её структуре и накопленному материалу, даёт возможность оценить предстоящие погодно-климатические изменения. Поэтому она используется для анализа глобальных и региональных изменений климата, природных опасностей различных территорий [Кононова, 2010, 2016].

Основная часть

С 1899 г. в Северном полушарии сменились три циркуляционные эпохи: две меридиональные (с 1899 по 1915 гг. и с 1957 г. по настоящее время) и одна зональная (1916–1956 гг.) [Кононова, 2014]. Со второй половины XX столетия над Северным полушарием сформировалась южная меридиональная циркуляция. При этом климатологи внутри циркуляционной эпохи, начиная с 1957 года, выделяют периоды с повышенной продолжительностью какой-либо группы циркуляции при общем преобладании меридиональной южной (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Циркуляционные периоды внутри меридиональной южной циркуляционной эпохи [Кононова, 2014]

Circulation periods within the meridional southern circulation era [Kononova, 2014]

| Период | Годы |
|---|-----------|
| Повышенная продолжительность меридиональной северной циркуляции | 1957–1969 |
| Рост продолжительности зональной циркуляции | 1970–1980 |
| Быстрый рост меридиональной южной циркуляции | 1981–1997 |
| Уменьшение продолжительности меридиональной южной циркуляции и рост меридиональной северной | 1998–2013 |



Условия атмосферной циркуляции сказались на изменчивости региональных климатических характеристик среднемесячной температуры воздуха и количества выпадающих осадков (рис. 1 и 2).

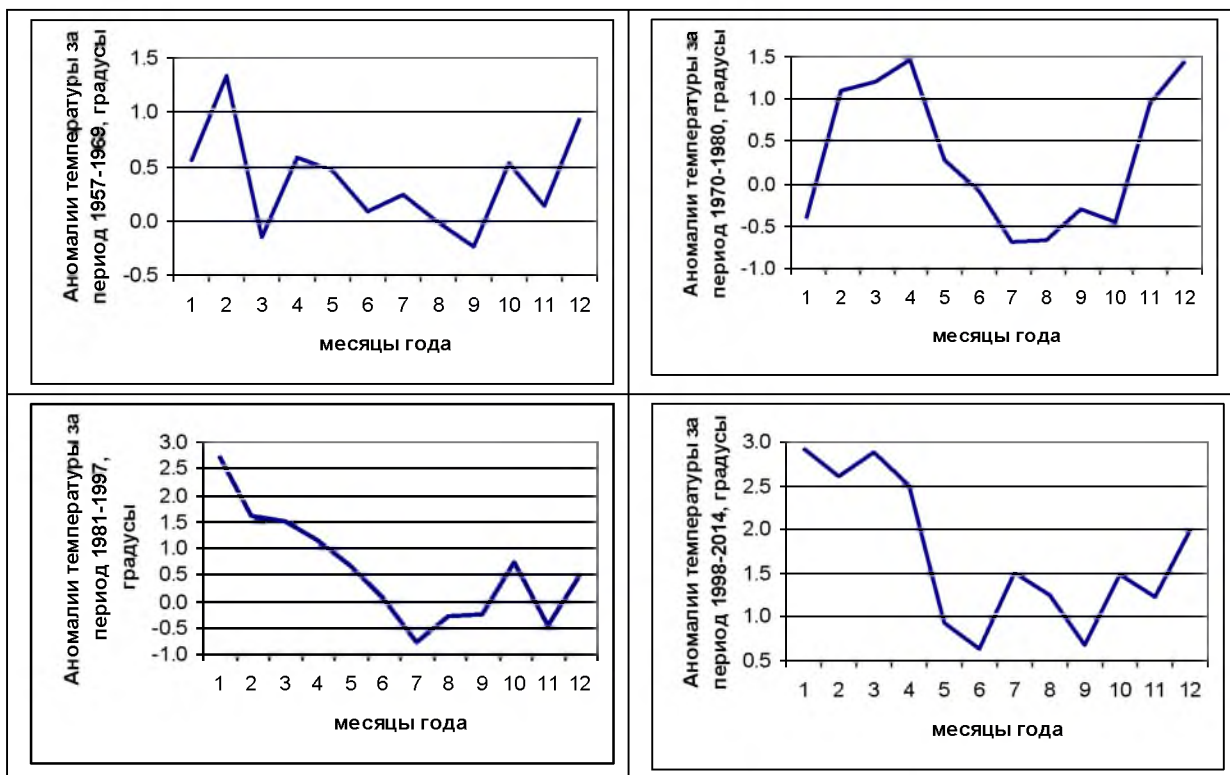


Рис. 1. Аномалии температуры воздуха (°C)

Fig. 1. Anomalies of air temperature (°C)

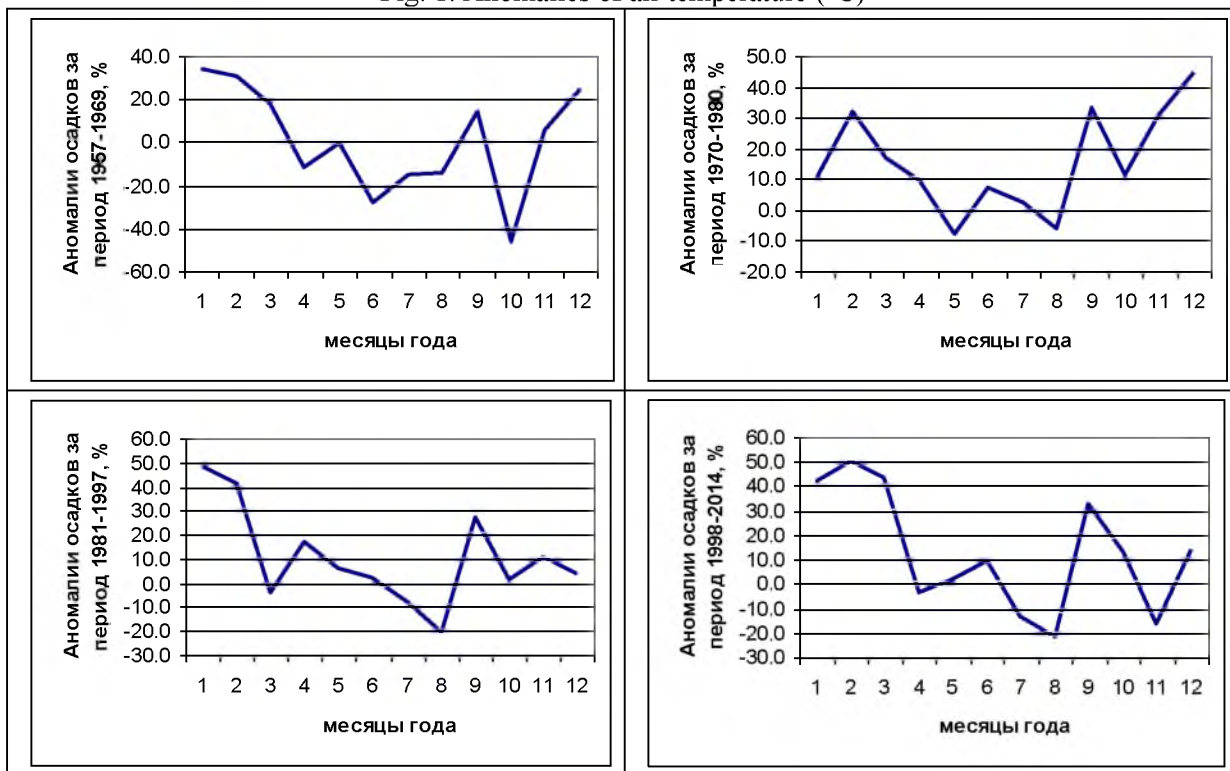


Рис. 2. Аномалии атмосферных осадков (%)

Fig. 2. Anomalies of precipitation (%)

В первый из рассматриваемых периодов (1957–1969 гг., повышенная продолжительность меридиональной северной циркуляции) среднегодовая аномалия температуры воздуха составила $+0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, минимальное значение указанной характеристики ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$) было отмечено в 1969, а максимальное ($2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) – в 1966 году. При этом положительные аномалии температуры воздуха ($0.5\text{--}1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) наблюдались в зимний и поздневесенний периоды, а отрицательные аномалии – в переходные сезоны – в марте и сентябре ($-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Начало современного активного потепления (с 1970-х годов) связано с переходом к зональным формам циркуляции на фоне продолжающейся южной циркуляционной эпохи. Среднегодовая аномалия температуры составила $+0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Увеличилась изменчивость этой характеристики: минимальное её значение за указанный период ($-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) было отмечено в 1976, а максимальное ($2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) – в 1975 году. Отрицательные аномалии температур были характерны для летне-осенних месяцев (до минус $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$). В зимне-весенний период положительные аномалии температур достигали $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В период 1981–1997 гг. происходило усиление южной меридиональной циркуляции. Аномалии среднегодовой температуры составили $+0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом в зимние месяцы отклонения от средних многолетних значений достигало $2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Похолодания были характерны для второй половины летнего сезона. Наряду с уменьшением повторяемости лет с отрицательными среднегодовыми аномалиями температуры от периода к периоду (38.5% – в первом, 27.3% – во втором, 17.6% – в третьем и отсутствие таковых в последнем периоде), с 1998 года, со сменой циркуляционных условий, произошёл рост среднегодовых температур воздуха [Chendev et al., 2013; Petin et al., 2014]. Положительная аномалия среднегодовой температуры воздуха возросла до $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, сохраняясь во все сезоны года [Lebedeva et al., 2016; Lupo et al., 2014]. Максимальные значения среднегодовых аномалий температуры ($2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$) зафиксированы в 2007, 2010, 2013 годах. По-прежнему абсолютные величины положительных аномалий в холодное время года превышают указанную характеристику в тёплый период.

Наиболее значимыми по продолжительности и величине для формирования аномалий температуры являются процессы, связанные с блокирующими антициклонами: стационарный антициклон, сформированный над Казахстаном, трансформированный в результате длительного стационарирования арктический антициклон или стационарный антициклон над Восточной Европой [Lebedeva et al., 2016; Lupo et al., 2014].

В середине XX столетия (повышенная продолжительность меридиональной северной циркуляции) наблюдался слабый дефицит увлажнения (4.7%). Но недобор осадков (до $20\text{--}50\%$ нормы) происходил в основном в вегетационный период, создавая неблагоприятные условия для агропромышленного комплекса. 8 из 13 лет первого периода (1957–1969 гг.) были с дефицитом осадков, наиболее засушливой была середина периода (1961–1964 гг.), когда отрицательные среднегодовые аномалии осадков составляли от 19% до 25% . Особенно выраженным дефицит осадков был в июне (10 лет из 13 недобор осадков составлял $20\text{--}50\%$ от нормы). Относительно благоприятными условия увлажнения были для посевов озимых.

С переходом к зональным условиям циркуляции (1970–1980 гг.) аномалии среднегодового количества осадков возросли до $+12.5\%$. Условия увлажнения были наиболее оптимальными. Число лет с отрицательными среднегодовыми аномалиями осадков – 3 года – это наименьшая повторяемость засушливых лет за весь период



исследования (1957–2014 гг.) Чаще всего отрицательные аномалии осадков наблюдались в мае и августе.

Активизация южных форм циркуляции (1981–1997 гг.) привела к относительному уменьшению количества выпадающих атмосферных осадков, хотя положительные аномалии годовых сумм осадков сохранились (+5.8%). В 50% лет среднегодовые аномалии осадков были отрицательными. Повышение повторяемости засушливых явлений характерно для второй половины вегетационного периода (июль–август), когда число лет с отрицательными аномалиями составило примерно 70%, в остальных месяцах вегетационного периода увлажнение в 50% случаев близко к норме.

Современная эпоха (с 1998 года по настоящее время) характеризуется наибольшей нестабильностью внутригодового режима осадков с тенденцией дефицита осадков в летний период. Происходящие в начале XXI века изменения атмосферной циркуляции проявляются в увеличении повторяемости квазистационарных антициклонов, особенно в летний сезон. На фоне роста температур вегетационного периода возрастают частота и длительность погодных условий с высоким дефицитом влажности воздуха [Lebedeva et al., 2016]. Тенденция к росту засушливости второй половины вегетационного периода (июль–август) усилилась в сравнении с предыдущим периодом южной атмосферной циркуляции. Но наряду с годами острого дефицита осадков в отдельные годы фиксируется избыток увлажнения [Лебедева, Крымская, Чендев, 2016].

К увеличению месячных сумм осадков привело возрастание повторяемости атмосферных процессов, связанных с выходами южных циклонов. Вместе с тем, резко сократилось число дней с перемещением северо-западных антициклонов, ранее определявших величину выпадающих осадков в регионе. Отрицательные аномалии месячных сумм осадков в последние годы обусловили стационарные антициклоны, сформированные над Казахстаном, и стационарный антициклон над Восточной Европой [Lebedeva et al., 2016].

Заключение

Меридиональная южная циркуляционная эпоха, начавшаяся с 1957 года, отмечена существенной вариацией гидротермических характеристик в зависимости от сопутствующих форм атмосферной циркуляции. Наиболее оптимальные условия – положительные аномалии температуры и количества атмосферных осадков – создаются при восстановлении зонального переноса воздушных масс (1970–1980 гг.).

Нестабильные условия увлажнения формируются при меридиональных северных потоках (1957–1969 гг. и начиная с 1998 года), что при дальнейшем росте температур может негативно сказываться на гидротермических характеристиках вегетационного периода, когда условия увлажнения достигают критических показателей – острого дефицита осадков или их избыточного количества. Циркуляционными механизмами, определяющими экстремальные погодные условия, являются квазистационарные антициклоны, их местоположение, термобарические характеристики и длительность существования.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по проекту № 14-17-00171.



Список литературы

References

1. Дзерdzeевский Б.Л. 1968. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии. *В кн.: Материалы метеорологических исследований*. М., 240.
Dzerdzeevskii B.L. 1968. Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern hemisphere in the XX century. *In: Materialy meteorologicheskikh issledovaniy [Proceedings of the meteorological studies]*. Moscow, 240. (in Russian)
2. Кононова Н.К. 2010. Потепление или колебания климата. *В кн.: Климат, мировой океан и воды суши. Сборник научных работ XIV съезда Русского географического общества*. Т. 1. Кн. 3. Санкт-Петербург: 44–48.
Kononova N. K. Warming or climate variations. *In: Klimat, mirovoj okean i vody sushi [The climate, the world ocean and the water of the land]*. Collection of scientific works of the 14th Congress of the Russian Geographical Society. T. 1. Book. 3. Saint Petersburg: 44–48. (in Russian)
3. Кононова Н.К. 2014. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате. *Сложные системы*, (2): 11–35.
Kononova N.K. 2014. Features of the atmospheric circulation of the Northern hemisphere at the end of XX – beginning of XXI century and their reflection in the climate. *Complex systems*, (2): 11–35. (in Russian)
4. Кононова Н.К. 2016. Колебания циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. URL: www.atmospheric-circulation.ru (дата обращения: 04.05.2017 г.).
Kononova N.K. Fluctuations of atmospheric circulation in the XX – beginning of XXI century. Available at: www.atmospheric-circulation.ru (accessed 4 May 2017). (in Russian)
5. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Чендев Ю.Г. 2016. Агроклиматические ресурсы Белгородской области в начале XXI века. *Достижения науки и техники АПК*, 30 (10): 71–75.
Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Yu.G. 2016. Agroclimatic resources of the Belgorod region in the beginning of XXI century. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 30 (10): 71–75. (in Russian)
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. 1990. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 28. Л., 366.
Scientific-applied Handbook on the USSR climate. 1990. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Vol. 28. Leningrad, 366. (in Russian)
7. Почвы и растительность юга Среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата. 2016. Белгород, 326 с.
Soils and vegetation of the upland South in a changing climate [*Pochvy i rastitel'nost' juga Srednerusskoj vozvyshennosti v usloviyah menjajushhegosja klimata*]. 2016. Belgorod, 326. (in Russian)
8. Фондовые материалы Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1900–2015 гг.
Materials of the Belgorod center for Hydrometeorology and environmental monitoring for 1900–2015. (in Russian)
9. Chendev Yu.G., Lupo A.R., Petin A.N., Lebedeva M.G. 2013. Influence of Long- and Short-Term Climatic Changes on Chernozem Soils: Central Chernozem Region of Russia. *Papers in Applied Geography*, 36: 156–164.
10. Climate Research Unit. Available at: <http://www.cru.uea.ac.uk/data/temperature/> (accessed 22 May 2017).
11. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Yu.G., Petin A.N., Solovyev A.B. 2016. Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and Southern Russia in the Early 21st Century. Hindaws Publishing Corporation *Advances in Meteorology*. Vol. 2016, Article ID 5035086, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5035086>.
12. Lupo, A.R., Mokhov I.I., Chendev, Yu.G., Lebedeva, M.G., Akperov M., Hubbart J.A. 2014. Studying Summer Seasons Drought in Western Russia. Hindaws Publishing Corporation *Advances in Meteorology*. Vol. 2014, Article ID 942027, 9 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/942027>.
13. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G., Kornilov A.G., Lupo A.R. 2014. Regional Manifestations of Changes in Atmospheric Circulation in Central Black Earth Region (By the Example of Belgorod Region). *Advances in Enviromental Biology*, 8 (10): 544–547.